

油气聚集系数的研究方法及应用

祝厚勤^{1,2}, 庞雄奇^{1,2}, 姜振学^{1,2}, 董春晖^{1,2}

1. 中国石油大学石油天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249

2. 中国石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249

摘要: 油气聚集系数是油气资源评价中最为关键的一个参数, 影响因素复杂, 如何科学取值一直困扰着石油地质工作者。利用层次分析法建立油气运聚单元(油气成藏体系)定量评价结构模型, 对油气成藏体系进行定量评价; 根据“三高”原则选取刻度区, 利用生烃潜力法和油藏规模序列法求取刻度区的油气聚集系数, 将各油气成藏体系与刻度区类比求取相应油气成藏体系油气聚集系数。运用该方法求取苏北盆地高邮凹陷上含油气系统各油气成藏体系油气聚集系数。结果表明, 高邮凹陷上含油气系统各油气成藏体系油气聚集变化较大, 在 9%~14% 之间, 用该聚集系数求取的资源量较过去用一个统一的聚集系数求取的资源量更接近地质实际。实践证明, 利用层次分析法定量评价成藏体系, 结合生烃潜力法和油藏规模序列法, 可以对聚集系数进行定量预测, 减少资源量计算中人为因素的影响, 使资源评价更加客观。

关键词: 油气聚集系数; 层次分析法; 油藏规模序列法; 资源评价; 定量评价; 油气成藏体系。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2007)02-0260-07

收稿日期: 2006-02-28

Studying Methods and Application of the Hydrocarbon Accumulation Coefficient

ZHU Hou qin^{1,2}, PANG Xiong qi^{1,2}, JIANG Zhen xue^{1,2}, DONG Chun hui^{1,2}

1. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation, Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

Abstract: The hydrocarbon accumulation coefficient is a key parameter influenced by many geological factors in the evaluation of hydrocarbon resources and how to attain its value scientifically has always been a big problem. In this paper, the hydrocarbon accumulation system is evaluated quantitatively by the quantitative evaluation model based on the analytical hierarchy process. The calibrated unit is selected according to the three most principle and its hydrocarbon accumulation coefficient can be calculated by the methods of hydrocarbon generation potential and pool size serial. The hydrocarbon accumulation coefficient of the intentional system can be gained by the analogy between the referential system and the intentional system. Through the application of the above methods, the hydrocarbon accumulation coefficient of the petroleum accumulation systems in Gaoyou sag of Subei basin can be satisfactorily attained, which proves that the hydrocarbon accumulation coefficient can be achieved quantitatively with the methods of hydrocarbon generation potential and pool size serial based on the quantitative evaluation of the petroleum accumulation system by the analytical hierarchy process which leads to more objective hydrocarbon resource evaluation by decreasing the subjective factors in the calculation of hydrocarbon amount.

Key words: hydrocarbon accumulation coefficient; analytical hierarchy process; pool size serial; hydrocarbon resource evaluation; quantitative evaluation; hydrocarbon accumulation system.

石油的供需保障程度在相当大的程度上直接影响着国家经济的稳定和社会的安危(贾承造等,

基金项目: 国家重大基础研究“973”项目(No. G19990433); 国家“十五”重大科技项目“中国油气资源发展关键技术研究”(No. 2001BA605A09)。

作者简介: 祝厚勤(1970-), 男, 博士生, 主要从事石油地质综合研究, E-mail: Zhuhq0920@126.com

2005). 1963 年中国实现了石油自给, 1993 年开始进口石油, 2002 年进口原油达 $8\,360 \times 10^4$ t, 2005 年我国进口原油 1.31×10^2 t, 原油进口比例逼近国内外专家公认的油气安全警戒线 50% (沈平等, 2000; 王涛, 2000). 因此, 我国到底有多少油气资源, 常规油气资源能用多久, 已成为大家十分关注的焦点问题. 目前存在的资源评价方法很多, 但基于油气聚集系数的成因法仍是基本的方法之一.

1 问题的提出

对油气“聚集系数”的含义, 目前存在着不同的理解, 归纳起来大致有 3 种: 聚集量与生油量之比、聚油量与生油层残留烃量之比和聚集量与排烃量之比. 笔者赞同后者. 目前常用的聚集系数的求取方法有地质类比法、油藏规模序列法、专家打分模糊综合评价法等 (盛志伟, 1989). 宋国奇 (2002) 在国内外资料调研的基础上, 从东营凹陷实际地质情况出发, 提出了采用多因素综合选取石油聚集系数的方法. 该方法既考虑了研究区目前的勘探程度 (福克 - 沃德法、网络统计法), 又考虑了成藏条件及其匹配关系等影响油气聚集系数的地质因素 (地质综合分析法). 但在实际应用中, 由于不同方法考虑的因素不同, 不同方法求取的聚集系数具有较大的差异, 如笔者运用福克 - 沃德法、网络统计法、地质综合分析法分别计算东营凹陷的聚集系数, 结果分别是 63.5、55.3 和 44.1, 如何选取最终的聚集系数, 存在较大的人为因素 (笔者最后通过加权平均的方法, 选取的聚集系数为 47.9). 柳广弟等 (2003) 在对松辽、渤海湾、鄂尔多斯、塔里木、准噶尔和吐哈等盆地 21 个运聚单元剖析的基础上, 研究了运聚单元石油运聚系数与主要地质参数之间的关系, 认为石油的运聚系数主要与有效烃源岩的年龄和成熟度、圈闭的发育程度以及上覆地层的区域不整合个数有关. 采用多元回归和逐步回归的统计方法, 建立了运聚单元石油运聚系数与主要地质因素之间关系的统计模型, 包括双因素模型 (地质因素选用烃源岩年龄和圈闭面积) 和多因素模型 (地质因素选用烃源岩年龄、烃源岩的成熟度、区域不整合个数和圈闭面积). 但运聚单元油气成藏条件主要包括五大条件, 即烃源条件、储集层条件、圈闭条件、保存条件和配套条件等近 30 余项参数, 而模型的建立仅考虑其中的 2 项或 4 项, 考虑的因素比较单一. 通过对国内外聚集系数

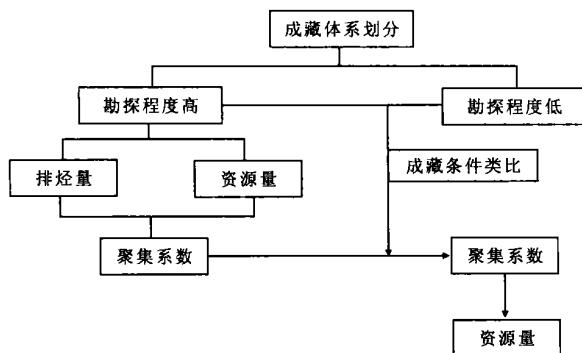


图 1 聚集系数的研究思路

Fig. 1 Chart of hydrocarbon accumulation coefficient studying

求取方法的调研, 认为聚集系数取值存在的问题主要体现在以下 2 个方面: (1) 影响油气聚集的地质因素繁多复杂, 变化范围宽, 人为取值受主观因素影响较大; (2) 油气聚集是个十分复杂的过程, 时间跨度长, 影响因素众多, 很难从简单的数学模拟上对聚集系数的选取进行计算 (乔永富, 2005). 即使在一个盆地中能够找出运聚系数的定量模拟关系, 由于盆地地质条件一般都有较大的差异, 而这种差异的影响又有着很强的不确定性, 因此即使能够建立起聚集系数与油气运移聚集的主控因素两者之间的定量关系模式, 也很难保证定量关系移植的准确性.

基于聚集系数取值的复杂性, 以上方法或多或少地都存在着这样或那样的缺陷, 如考虑的因素比较单一, 人为影响因素较多 (姜振学等, 2002, 2006), 自然界中根本不存在 2 个地质情况完全相同的区带或洼陷等, 因此上述方法在应用上都存在着一定的局限性. 本文利用层次分析法建立油气运聚单元 (油气成藏体系) 定量评价结构模型, 对油气成藏体系进行定量评价; 根据“三高”原则选取刻度区 (胡素云等, 2005), 利用生烃潜力法和油藏规模序列法求取刻度区的油气聚集系数, 将各油气成藏体系与刻度区类比求取相应油气成藏体系油气聚集系数. 实践证明, 利用层次分析法定量评价成藏体系, 结合生烃潜力法和油藏规模序列法, 可以对聚集系数进行定量预测, 减少资源量计算中人为因素的影响, 使资源评价更加客观.

2 聚集系数科学取值的研究思路

对于高勘探程度地区的研究, 通过已发现资源量合理选取聚集系数. 对于低勘探程度地区, 通过与

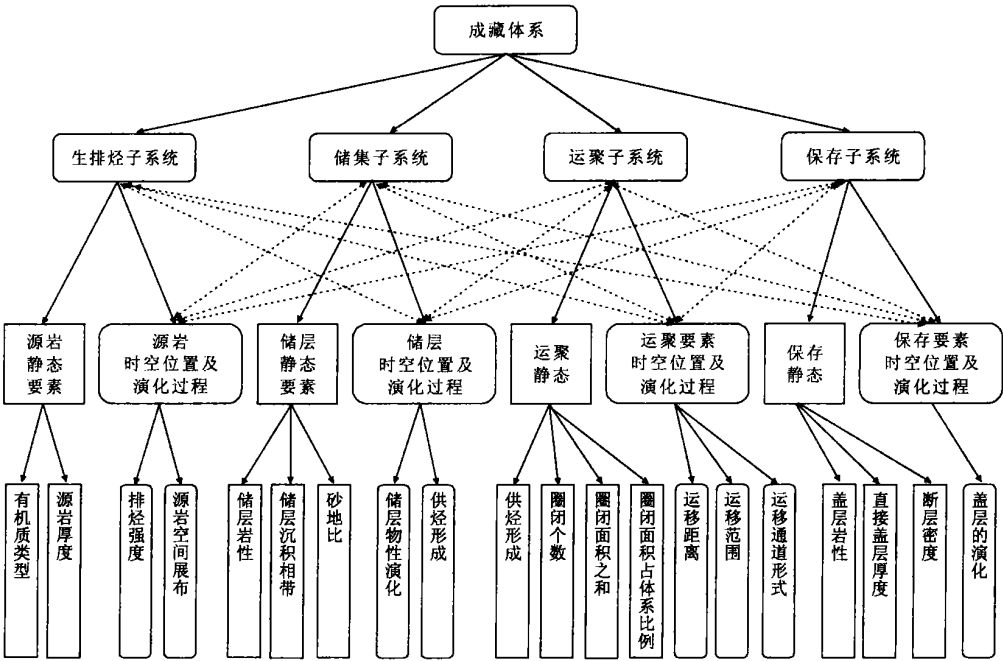


图 2 层次分析法油气成藏体系综合定量评价结构

Fig. 2 Chart of quantitative evaluation of hydrocarbon accumulation system by analytical hierarchy process

高勘探地区油气成藏条件的类比研究来取得(图 1)。

对于高勘探程度区, 首先进行油气运聚单元划分, 本文采用油气成藏体系(金之钧等, 2003)。应用层次分析法对各油气成藏体系进行定量评价, 选取勘探程度高、地质规律认识程度高和油气资源探明率高的成藏体系作为刻度区(胡素云等, 2005), 应用生烃潜力法和油藏规模序列法分别计算刻度区的排烃量和可探明储量(周杰和庞雄奇, 2002), 可探明储量与排烃量的比值即为刻度区的油气聚集系数。

其他油气成藏体系的聚集系数的选取以各成藏体系的综合地质评价为基础, 其影响油气运聚因素分值的加权和即为各成藏体系的综合得分, 即:

$$K_k = \frac{G_k}{G_j} \cdot K_j \quad (k = 1, 2, \dots, 8).$$

式(1)中 K_k 为各成藏体系聚集系数; K_j 为刻度区(油气成藏体系)聚集系数; G_k 为成藏体系地质条件综合评价指标; G_j 为刻度区(油气成藏体系)地质条件综合评价指标。

聚集系数与排烃量的乘积即为各成藏体系资源量。因此各油气成藏体系地质综合评价是准确获得油气聚集系数的关键。

3 油气成藏体系定量评价

3.1 层次分析法

层次分析法是对非定量事件作定量分析的一种有效方法。它首先将分析、评价系统层次化, 根据系统的性质和总目标(功能), 把系统分解成不同的组成因素, 并按照各因素之间的相互联系, 以及隶属关系划分出不同层次的组合, 构成一个多层次的系统分析结构模型, 最终计算出最底层的诸因素相对最高层次的相对重要性权值(赵焕臣, 1986; 周硕愚, 1988; 王莲芬和许树柏, 1990)。系统层次分析法简化了系统分析和计算, 把一些定性的因素定量化, 使思维过程变成数学化, 而且还能保持其思维过程的一致性, 为多因素综合定量评价提供了一套良好的方法。

层次分析法是系统论中系统评价的一种方法, 充分体现了系统的集合性、关联性、非简单加和性、环境适应性及系统的层次性。系统从纵向上可层层分解下去, 最后层次为要素(姜振学等, 2003)。

地质条件综合评价具有多因素和复杂的特点, 而各因素权重求取一直是困扰地质工作者的主要难题。而层次分析法能够很好地体现不同油气成藏体系含油气性的性质。因此, 本文将层次分析法引入油气成藏体系定量评价中, 系统考虑各油气成藏体系

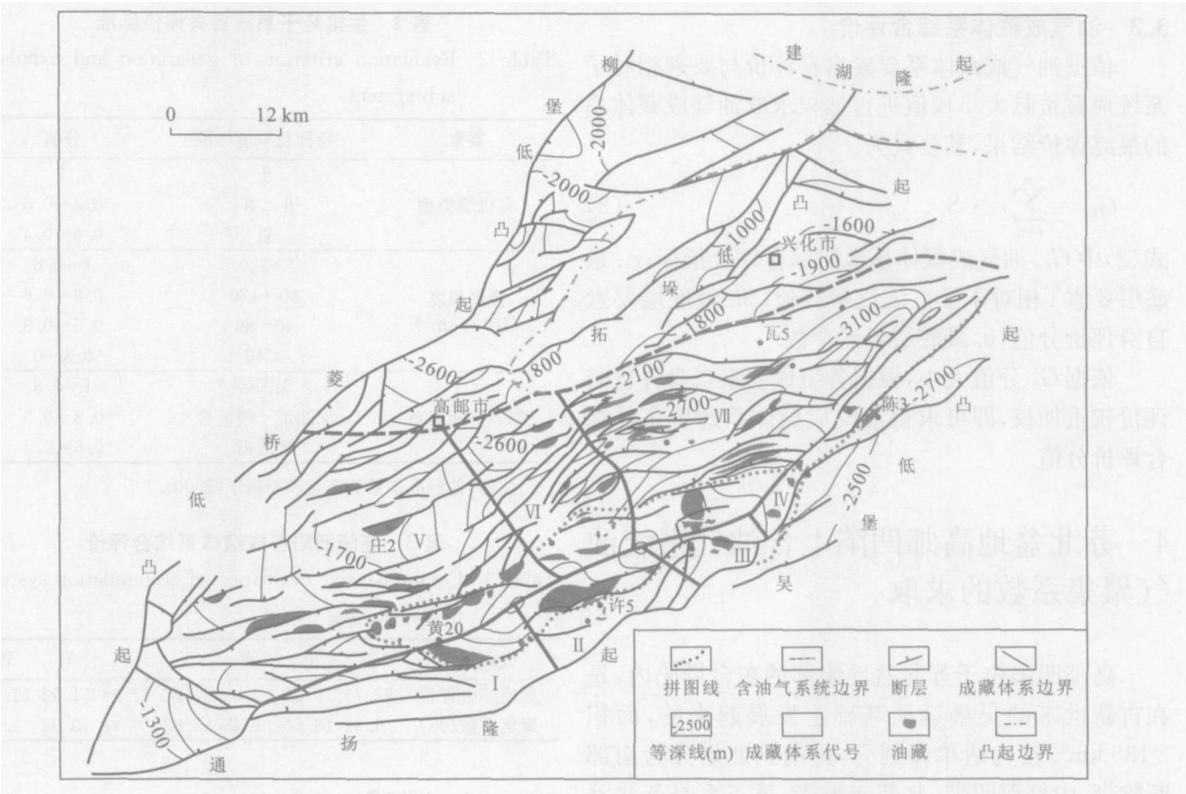


图 3 高邮凹陷上含油气系统油气成藏体系划分

Fig.3 Map of division of hydrocarbon accumulation system of upper petroleum system in Gaoyou sag
深凹带为 T_{25} 反射层构造; 吴堡低凸起为 T_{40} 反射层构造; 其他地区为 T_{33} 反射层构造

表 1 高邮凹陷上含油气系统油气成藏体系划分

Table 1 Division of hydrocarbon accumulation system of upper petroleum system in Gaoyou sag

序号	成藏体系名称	面积(km^2)	区带(油田)	探明储量(10^4 t)
I	黄珏	172	黄珏油田	811
II	邵伯 - 真武 - 曹庄 - 肖刘庄	82	邵伯油田、真武油田、曹庄油田及肖刘庄油田	2 656
III	竹墩 - 徐家庄	38	邱家油田、徐家庄油田	417
IV	周庄 - 陈堡	45	周庄油田、陈堡油田	189
V	联盟庄 - 马家嘴	635	联盟庄油田、马家嘴油田	743
VI	永安 - 卸甲庄	231	永安油田	429
VII	沙埕 - 花庄 - 富民	394	富民、花庄油田、沙埕地区	889
小计		1 597		6 134

的成藏条件, 为油气聚集系数的选取提供科学的依据.

3.2 油气成藏体系层次分析法结构模型的建立

油气成藏体系评价结构模型的建立是评价的关键. 油气成藏体系由功能不同的子系统(生排烃子系统、储集子系统、运聚子系统和保存子系统)组成, 而每个子系统又由不同的要素组成, 表现了系统的层次性; 各子系统的时空位置及其演化过程相互联系、相互依存、相互影响、相互制约, 表现了系统的联系

性; 各子系统在时空上有机匹配, 共同形成油气成藏体系的总功能 - 有机质赋存 - 油气藏形成, 体现了系统的非简单加和性和系统的整体性; 系统处于一定的环境中, 并时刻与环境进行着物质、能量、信息的交换, 表现了系统的环境适应性. 这种油气成藏体系内部诸子系统、要素的组成形式构成了油气成藏体系的结构(图 2). 因此, 在进行油气成藏体系评价时, 从油气成藏体系自身的结构、特征和演化入手, 才能使评价的结果符合客观实际.

3.3 油气成藏体系综合评价

依据油气成藏体系要素自身评价与要素相对于系统成藏贡献大小权值进行加权求取油气成藏体系的最终评价结果,其公式为:

$$G_k = \sum_{i=1}^n r_i \cdot S_i .$$
 (2)

式(2)中 G_k . 油气成藏体系地质综合评价指标; r_i . 最底层要素 i 相对于子系统贡献权值; S_i . 最底层要素自身评价分值; n . 最底层要素个数.

依据 G_k 分值大小, 根据各组成要素自身评价与评价权重加权, 即可求得油气成藏体系地质条件综合评价分值.

4 苏北盆地高邮凹陷上含油气系统油气聚集系数的求取

高邮凹陷位于苏北盆地南部的东台拗陷内, 是在古新世末的吴堡运动基础上发展起来的, 面积 2 130 km². 按构造单元划分, 由南到北划分为南部断阶带、中部深凹带、北部斜坡带. 第三系是苏北盆地的重要组成部分, 自下而上可以划分为: 阜宁组、戴南组、三垛组、盐城组. 其中, 阜宁组二段和四段是该凹陷的主力烃源岩层段, 戴南组和三垛组是主要勘探目的层. 高邮凹陷纵向上划分为上、下 2 个含油气系统. 本文仅就上含油气系统各油气成藏体系聚集系数的求取探讨该方法的应用.

4.1 成藏体系划分

根据油气成藏体系地质概念和划分原则(庞雄奇等, 2001), 将高邮凹陷上含油气系统划分为 7 个油气成藏体系(图 3, 表 1).

4.2 油气成藏体系定量评价

在对苏北盆地的地质特征和成藏条件、油藏特征综合分析的基础上, 分别建立层次结构模型(图 2)中的各要素对其自系统的自身评价标准, 根据各参数的实际特征分别赋值. 如在对生排烃子系统源岩类型进行自身标准评价时, 将其类型分为 4 类, 再根据源岩类型的不同, 分别赋值(表 2). 根据油气成藏体系层次分析法结构模型, 对高邮凹陷上含油气系统 7 个油气成藏体系地质要素详细的取值打分, 并根据油气成藏体系定量评价方法, 对各油气成藏体系进行综合地质评价, 其评价结果如表 3 所示.

4.3 高邮凹陷上含油气系统聚集系数的求取

根据刻度区选取的“三高”原则, 选取高邮凹陷

表 2 生排烃子系统自身评价标准

Table 2 Evaluation criterion of generation and expulsion sub system

要素	特征及取值标准	分值
有机质类型	I	I
	II ₁ 、II ₂	0.8~0.6
	III	0.6~0.4
排烃强度 (10 ⁴ t/km ²)	> 120	1~0.8
	80~120	0.8~0.6
	40~80	0.6~0.3
	< 40	0.3~0
	深凹带	1~0.8
源岩空间展布	深凹带-缓坡带	0.8~0.6
	缓坡带	0.6~0.3

注: 其他标准参见黄志龙和姜振学(2000).

表 3 高邮凹陷各成藏体系综合评价

Table 3 Comprehensive evaluation of accumulation systems in Gaoyou sag

成藏体系	I	II	III	IV	V	VI	VII
地质综合评价	52.71	76.35	64.93	61.87	67.98	51.92	51.18
聚集系数(%)	9.32	13.50	11.48	12.02	9.18	10.94	9.05

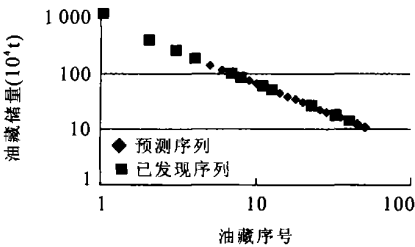


图 4 高邮上含油气系统第 II(邵-真-曹-肖)油气成藏体系油藏规模序列预测

Fig. 4 Prediction of pool size serial to No. 2 hydrocarbon accumulation system of upper petroleum system in Gaoyou sag

上含油系统第 II(邵伯-真武-曹庄-肖刘庄)油气成藏体系分别为高邮凹陷上含油气系统各成藏体系的刻度区.

高邮凹陷上含油气系统油气成藏体系 II 先后发现了真 12、真 11、真 35 等油藏, 累计探明储量已达 2 656×10⁴ t, 根据规模序列法计算其可探明储量为 2 833×10⁴ t(图 4). 该油气成藏体系的可探明储量除以其排烃量(20 985×10⁴ t, 排烃量是通过生烃潜力法计算的)即为它的聚集系数, 结果为 13.5%.

根据油气聚集系数求取方法, 分别求取高邮凹陷上含油气系统各成藏体系油气聚集系数(表 3).

5 结论与讨论

(1) 利用层次分析法定量评价油气成藏体系, 结合生烃潜力法和油藏规模序列法, 可以对聚集系数进行定量预测, 减少资源量计算中人为因素的影响, 使资源评价更加客观; (2) 高邮凹陷上含油气系统各油气成藏体系油气聚集系数差别较大, 在 9% ~ 14% 之间。

然而, 由于油气生、运、聚机理的复杂性及地质因素的不确定性, 要想建立一个较完美的定量模型并得到较好的应用效果, 对地质工作者来说仍是一个严峻的挑战。要想使上述方法得到较好的实际应用, 应注意以下 2 点: (1) 准确把握研究区地质特征, 正确划分油气成藏体系(运聚单元); (2) 把握研究区影响油气生、运、聚的敏感参数, 正确建立层次分析法油气成藏体系综合定量评价结构, 并赋予相应的权值。

References

- Hu, S. Y., Tian, K. Q., Liu, G. D., et al., 2005. Dissection of calibrated units and key parameters for oil and gas resource assessment. *Acta Petrolei Sinica*, 26(Suppl.): 49–54 (in Chinese with English abstract).
- Huang Z. L., Jiang, Z. X., 2000. Reservoir forming mechanism and quantitative evaluation in Turpan Hami basin. Petroleum Industry Press, Beijing, 124–133 (in Chinese).
- Jia, C. Z., Zhao, Z. Z., Zhao, W. Z., et al., 2005. Petroleum resource and exploration potential of main petroliferous basin onshore in China. *Acta Petrolei Sinica*, 26(Suppl.): 1–6 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, Z. X., Chen, D. X., Qiu, G. Q., et al., 2003. AHP applied in the research of main controlling factors for studying formation of sand lens reservoir. *Petroleum Exploration and Development*, 30(3): 44–48 (in Chinese with English abstract).
- Jiang, Z. X., Wang, X. D., Pang X. Q., et al., 2006. Paleo hydrocarbon water contact restoration of typical Silurian oil and gas reservoirs in the northern Tarim basin. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31(2): 201–208.
- Jiang, Z. X., Pang, X. Q., Jin, Z. J., et al., 2002. Threshold control over hydrocarbons and its application in distinguishing valid source rock. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(6): 689–695 (in Chinese with English abstract).
- Jin, Z. J., Zhang, Y. W., Wang, J., et al., 2003. Hydrocarbon accumulation mechanisms and oil/gas distribution. Petroleum Industry Press, Beijing, 73–79 (in Chinese).
- Liu, G. D., Zhao, W. Z., Hu, S. Y., et al., 2003. Prediction models of migration and accumulation coefficient for petroleum migration and accumulation unit. *Petroleum Exploration and Development*, 30(5): 53–55 (in Chinese with English abstract).
- Pang, X. Q., Jin, Z. J., Jiang, Z. X., et al., 2002. Quantitative models of hydrocarbon accumulation. Petroleum Industry Press, Beijing, 129–145 (in Chinese).
- Qiao, Y. F., Mao, X. P., Xin, G. Z., 2005. Quantitative simulation of hydrocarbon migration. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(5): 617–622 (in Chinese with English abstract).
- Shen, P. P., Zhao, W. Z., Dou, L. R., 2000. Oil resource prospects and forecast in the next decade. *Acta Petrolei Sinica*, 21(4): 1–6 (in Chinese with English abstract).
- Sheng, Z. W., 1989. On the accumulation amount. *Petroleum Geology and Experiment*, 11(3): 228–233 (in Chinese with English abstract).
- Song, G. Q., 2002. Study and application of the coefficient of hydrocarbon accumulation determined by multifactors. *Petroleum Geology and Experiment*, 24(2): 168–171 (in Chinese with English abstract).
- Wang, L. F., Xu, S. B., 1990. Introduction to AHP. Renmin University of China Press, Beijing, 5–18 (in Chinese).
- Wang, T., 2000. The non replaceable conditions of adopting the strategy of sustainable nation development. In: The 21st Century Chinese Petroleum Strategy Management Session, ed., Chinese natural gas resource strategy in the 21st century selected from the report corpus of Chinese petroleum forum (the second volume). Petroleum Industry Press, Beijing, 5–9 (in Chinese).
- Zhao, H. C., 1986. Analytic hierarchy process. Science Press, Beijing, 1–7 (in Chinese).
- Zhou, J., Pang, X. Q., 2002. A method for calculating the quantity of hydrocarbon generation and expulsion. *Petroleum Exploration and Development*, 29(1): 24–27 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, S. Y., 1988. Introduction to system science. Seismological Press, Beijing, 5–18 (in Chinese).

附中文参考文献

- 胡素云, 田克勤, 柳广弟, 等, 2005. 刻度区解剖方法与油气资源评价关键参数研究. 石油学报, 26(增刊): 49–54.
- 黄志龙, 姜振学, 2000. 吐哈盆地油气成藏机制与定量评价.

北京:石油工业出版社,124-133.

贾承造,赵政璋,赵文智,等.2005.陆上主要含油气盆地油气资源与勘探潜力.石油学报,26(增刊):1-6.

姜振学,陈冬霞,邱桂强,等.2003.应用层次分析法研究透镜状砂体成藏主控因素.石油勘探与开发,30(3):44-48.

姜振学,庞雄奇,金之均,等.2002.门限控烃作用及其在有效烃源岩判别研究中的应用.地球科学——中国地质大学学报,27(6):689-695.

姜振学,王显东,庞雄奇,等.2006.塔北地区志留系典型油气藏古油水界面恢复.地球科学——中国地质大学学报,31(2):201-208.

金之均,张一伟,王捷,等.2003.油气成藏机理与分布规律.北京:石油工业出版社,73-79.

柳广弟,赵文智,胡素云,等.2003.油气运聚单元石油运聚系数的预测模式.石油勘探与开发,30(5):53-55.

庞雄奇,金之均,姜振学,等.2002.油气成藏定量模式.北京:石油工业出版社,129-145.

乔永富,毛小平,辛广柱.2005.油气运移聚集定量化模拟.地球科学——中国地质大学学报,30(5):617-622.

沈平平,赵文智,窦立荣.2000.中国石油资源前景展望及今后10年产量预测.石油学报,21(4):1-6.

盛志伟.1989.关于油气聚集量问题.石油实验地质,11(3):228-233.

宋国奇.2002.多因素油气聚集系数的研究方法及其应用.石油实验地质,24(2):168-171.

王莲芬,许树柏.1990.层次分析法引论.北京:中国人民大学出版社,5-18.

王涛.2000.实施国家可持续发展战略不可替代的重要条件.见:21世纪中国石油战略高级研讨会编.21世纪中国天然气资源战略——中国石油论坛报告文集(第2集).北京:石油工业出版社,5-9.

赵焕臣.1986.层次分析法.北京:科学出版社,1-7.

周杰,庞雄奇.2002.一种生、排烃计算方法探讨与应用.石油勘探与开发,29(1):24-27.

周硕愚.1988.系统科学导引.北京:地震出版社,5-18.

(上接 252 页)

贾明,岳来群,韦子亮.2005.有关我国深海油气资源勘探开发的几点思考.国土资源情报,7:5-7.

金春爽,乔德武,姜春艳,等.2003.国内外深水油气勘探新进展.海洋地质动态,19(1):20-23.

刘铁树,何仕斌.2001.南海北部陆缘盆地深水油气勘探前景.中国海上油气(地质),15(3):164-170.

梅廉夫,徐思煌.1997.沉积盆地沉积物天然水力破裂理论及意义.地质科技情报,16(1):39-45.

庞雄,陈长民,施和生,等.2005.相对海平面变化与南海珠江深水扇的响应.地学前缘,12(3):167-177.

彭大钧,庞雄,陈长民,等.2005.从浅水陆架走向深水陆坡—南海深水扇系统的研究.沉积学报,23(1):1-11.

石万忠,陈红汉,陈长民,等.2006.珠江口盆地白云凹陷地层压力演化与油气运移模拟.地球科学——中国地质大学学报,31(2):229-236.

王存武,陈红汉,施和生,等.2005.珠江口盆地番禺低隆起天然气成因研究.天然气工业,25(8):6-9.

王家豪,庞雄,王存武,等.2006.珠江口盆地白云凹陷中央底辟带的发现和识别.地球科学——中国地质大学学报,31(2):209-213.

吴湘杰,周蒂,庞雄,等.2005.白云凹陷地球物理场及深部结构特征.热带海洋学报,24(2):62-69.

杨川恒,杜栩,潘和顺,等.2000.国外深水领域油气勘探新进展及我国南海北部陆坡深水油气勘探潜力.地学前缘,7(3):247-256.

姚伯初,万玲,吴能友.2004.大南海地区新生代板块构造活动.中国地质,31(2):113-122.

张树林,黄耀琴,黄雄伟.1999.流体底辟构造及其成因探讨.地质科技情报,18(2):19-22.

张树林,田世澄,朱芳冰,等.1996.莺歌海盆地底辟构造的成因及其石油地质意义.中国海上油气,10(1):1-6.